

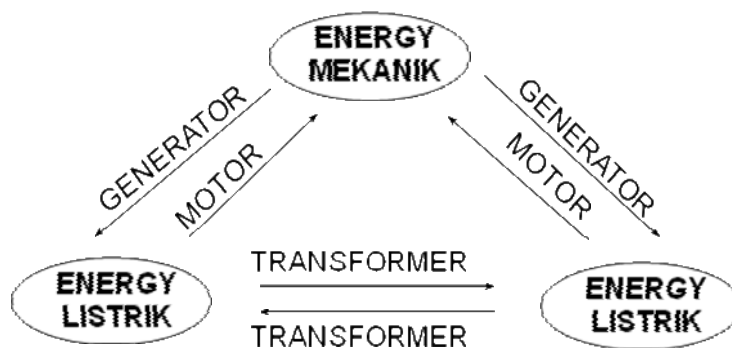


## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Umum

Transformator adalah suatu alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain, melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik.



Gambar 2.1 Transformasi Energi

Transformator dimungkinkan untuk digunakan sebagai perubahan tegangan dengan mengubah tegangan sebuah arus bolak-balik dari suatu tingkat ke tingkat dengan tegangan lain dari input ke input alat tertentu, untuk menyediakan kebutuhan yang berbeda dari sebuah tingkatan arus sebagai sumber arus cadangan, atau bisa juga digunakan untuk mencocokkan impedansi antara sirkuit listrik yang tidak sinkron untuk memaksimalkan pertukaran antara 2 buah sirkuit.

Pada umumnya transformator terdiri atas sebuah inti yang terbuat dari besi berlapis, dan dua buah kumparan yaitu kumparan primer dan kumparan



sekunder. Kedua kumparan ini tidak terhubung secara langsung. Satu-satunya hubungan antara kedua kumparan adalah fluks magnetic bersama yang terdapat dalam inti. Salah satu dari kedua kumparan transformator tadi dihubungkan ke sumber daya listrik bolak-balik dan kumparan kedua (serta ketiga jika ada) akan mensuplai daya ke beban. Kumparan transformator yang terhubung ke sumber daya dinamakan kumparan primer sedangkan yang terhubung ke beban dinamakan kumparan sekunder, jika terdapat kumparan ketiga dinamakan kumparan tersier.

Transformator digunakan secara luas baik dalam bidang tenaga listrik maupun elektronika. Penggunaan transformator dalam sistem tenaga memungkinkan terpilihnya tegangan yang sesuai dan ekonomis untuk tiap-tiap keperluan misalnya, kebutuhan akan tegangan tinggi dalam pengiriman daya jarak jauh. Penggunaan transformator yang sangat sederhana dan andal merupakan salah satu alasan penting dalam pemakaiannya dalam penyaluran tenaga listrik arus bolak-balik, karena arus bolak-balik sangat banyak dipergunakan untuk pembangkitan dan penyaluran tenaga listrik. Pada penyaluran tenaga listrik terjadi kerugian sebesar  $I^2R$  watt, kerugian ini akan banyak berkurang apabila tegangan dinaikkan. Dengan demikian saluran-saluran tenaga listrik senantiasa mempergunakan tegangan yang tinggi.

Tegangan yang paling tinggi di Indonesia pada saat ini adalah 500 kV. Hal ini dilakukan terutama untuk mengurangi kerugian energi yang terjadi. Dan menaikkan tegangan listrik di pusat listrik dari tegangan generator yang biasanya berkisar antara 6-20 kV pada awal saluran transmisi, dan menurunkannya pada ujung saluran itu ketegangan yang lebih rendah,



dilakukan dengan transformator. Transformator yang dipakai pada jaringan tenaga listrik merupakan transformator tenaga.

Disamping itu, ada jenis – jenis transformator lain yang banyak dipergunakan, dan yang pada umumnya merupakan transformator yang jauh lebih kecil. Misalnya transformator yang dipakai dirumah tangga, yang dipakai pada lampu TL, pesawat radio, televisi dan berbagai alat elektronika lainnya.

## 2.2 Klasifikasi Transformator

Dalam bidang tenaga listrik pemakaian transformator dikelompokkan menjadi :

- a. Transformator daya ( $> 500$  kVA). [2]
- b. Transformator distribusi (3-500 kVA). [2]
- c. Transformator *instrument*, digunakan untuk pengukuran yang terdiri atas transformator arus dan transformator tegangan.

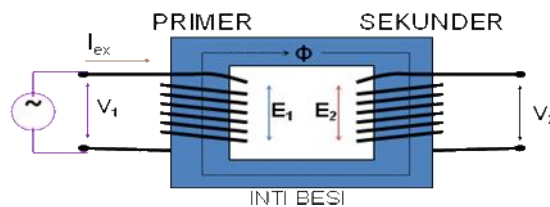
Berdasarkan jumlah fasanya transformator dibagi atas 2 yaitu :

1. Transformator satu fasa.
2. Transformator tiga fasa.



## 2.3 Prinsip Kerja Transformator

Prinsip kerja suatu transformator adalah induksi bersama (mutual induction) antara dua rangkaian yang dihubungkan oleh fluks magnet. Dalam bentuk yang sederhana, transformator terdiri dari dua buah kumparan yang secara listrik terpisah tetapi secara magnet dihubungkan oleh suatu alur induksi. Kedua kumparan tersebut mempunyai mutual induction yang tinggi. Jika salah satu kumparan dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik, fluks bolak-balik timbul di dalam inti besi yang dihubungkan dengan kumparan yang lain menyebabkan atau menimbulkan ggl (gaya gerak listrik) induksi (sesuai dengan induksi elektromagnet) dari hukum faraday.



Gambar 2.2. Rangkaian transformator

Berdasarkan hukum Faraday yang menyatakan magnitude dari electromotive force (emf) proporsional terhadap perubahan fluks terhubung dan hukum Lenz yang menyatakan arah dari emf berlawanan dengan arah fluks sebagai reaksi perlawanan dari perubahan

fluks tersebut didapatkan persamaan :

$$e = - \frac{d\Phi}{dt} \dots\dots\dots 2.1$$

dimana :

e = emf sesaat (instantaneous emf)

Φ= fluks terhubung (linked flux)



Dan pada transformer ideal yang dieksitasi dengan sumber sinusoidal berlaku persamaan:

$$E = 4,44 \Phi_m \cdot N \cdot f \quad \dots\dots\dots 2.2$$

Dimana ;

E = Tegangan (rms)

N = jumlah lilitan

$\Phi_m$  = fluks puncak (peak flux)

f = frekuensi

dan persamaan:

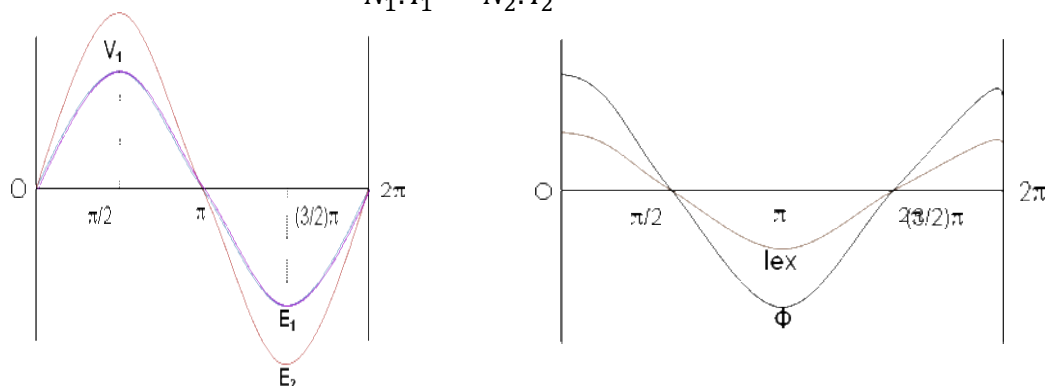
$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad \dots\dots\dots 2.3$$

Dikarenakan pada transformer ideal seluruh *mutual flux* yang dihasilkan salah satu kumparan akan diterima seutuhnya oleh kumparan yang lainnya tanpa adanya *leakage flux* maupun loss lain misalnya berubah menjadi panas. Atas dasar inilah didapatkan pula persamaan:

$$P_1 = P_2 \quad \dots\dots\dots 2.4$$

$$V_1 \cdot I_1 = V_2 \cdot I_2 \quad \dots\dots\dots 2.5$$

$$N_1 \cdot I_1 = N_2 \cdot I_2 \quad \dots\dots\dots 2.6$$

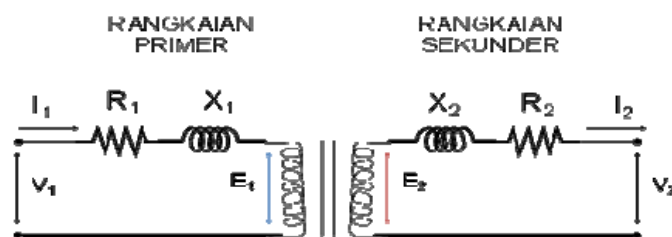


Gambar 2.3. Grafik arus, tegangan dan fluks yang terjadi



## Rangkaian Ekuivalen Transformer

Untuk mempermudah analisis dalam pengujian, rangkaian primer dan sekunder dibuat menjadi sebuah rangkaian yang disebut rangkaian equivalent. Pada rangkaian ini rugi tembaga pada sisi sekunder diubah menjadi nilai ekuivalennya dan dilihat dari arah primer.



Gambar 2.4. Rangkaian ekuivalen transformer

$$\text{LOSS}_2 = I_2^2 \cdot R_2$$

$$\text{LOSS}_2 = I_1^2 \cdot (I_2/I_1)^2 \cdot R_2$$

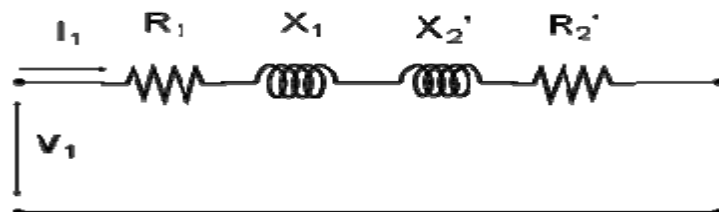
$$\text{LOSS}_2 = I_1^2 \cdot a_2 \cdot R_2$$

Dimana  $a$  adalah rasio perbandingan lilitan kumparan sekunder terhadap kumparan primer sehingga resistansi sekunder didapatkan:

$$R_2' = a_2 \cdot R_2$$

$$X_2' = a_2 \cdot X_2$$

Dari persamaan sebelumnya dapat digambarkan rangkaian ekuivalen transformer menjadi:



Gambar 2.5. Rangkaian ekuivalen yang telah disederhanakan



## 2.4 Parameter Transformator

Parameter transformator yang terdapat pada model rangkaian ekuivalen

$R_c$ ,  $X_m$ ,  $R_{ek}$  dan  $X_{ek}$  dapat ditentukan besarnya dengan dua macam pengukuran (test) yaitu:

### Pengukuran Open Circuit

Dalam keadaan tanpa beban bila kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan  $V_1$ , maka hanya  $I_0$  yang mengalir. Dari pengukuran daya yang masuk ( $P_1$ ), arus  $I_0$ , dan tegangan  $V_1$  akan diperoleh harga berikut:

$$R_c = \frac{V_1^2}{P_1^2} \dots\dots\dots 2.7$$

$$Z_0 = \frac{V_1}{I_0} = \frac{jX_m R_c}{R_c + jX_m} \dots\dots\dots 2.8$$

Dengan demikian, dari pengukuran beban NOL dapat diketahui harga  $R_c$  dan  $X_m$

### Pengukuran hubung singkat

Hubung singkat berarti impedans beban  $z_L$  diperkecil menjadi nol, sehingga hanya impedans  $z_{ek} = R_{ek} + jX_{ek}$  yang membatasi arus.

Dengan mengukur tegangan  $V_{hs}$ , arus  $I_{hs}$ , dan daya  $P_{hs}$ , akan dapat dihitung parameter:

$$R_{ek} = \frac{P_{hs}}{(I_{hs})^2} \dots\dots\dots 2.9$$

$$Z_{ek} = \frac{V_{hs}}{(I_{hs})} = R_{ek} + jX_{ek} \dots\dots\dots 2.10$$

$$X_{ek} = \sqrt{Z_{ek}^2 + R_{ek}^2} \dots\dots\dots 2.11$$



## 2.5 Pembebanan Pada Transformator

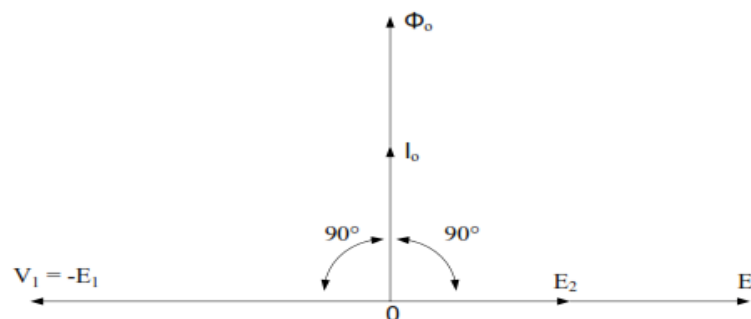
### 2.5.1 Transformator Tanpa Beban

Apabila transformator tidak dibebani, arus yang mengalir dalam transformator hanya arus pemagnetan ( $I_0$ ) saja. Dalam hal ini :

- Fluks magnet ( $\Phi_0$ ) sefasa dengan arus primer tanpa beban ( $I_0$ ) dan lagging  $90^\circ$  terhadap tegangan sumber  $V_1$ .
- Gaya gerak listrik induksi pada sisi primer ( $E_1$ ) besarnya sama dengan  $V_1$ , tetapi berbeda fasa  $180^\circ$  terhadap tegangan sumber  $V_1$ .
- Gaya gerak listrik induksi pada sisi sekunder ( $E_2 = aE_1$ ), lagging  $90^\circ$  terhadap fluks magnet ( $\Phi_0$ ).

Dalam penggambaran,  $V_1 = -E_1$ , dengan menganggap :

- Rugi-rugi arus pusar dan rugi-rugi hysteresis di dalam inti tidak ada.
- Rugi-rugi tahanan kawat tembaga tidak ada.
- Fluks bocor pada kumparan primer dan kumparan sekunder tidak ada, maka vector diagramnya seperti Gambar dibawah ini



Gambar 2.6. Diagram vektor transformator ideal tanpa beban.





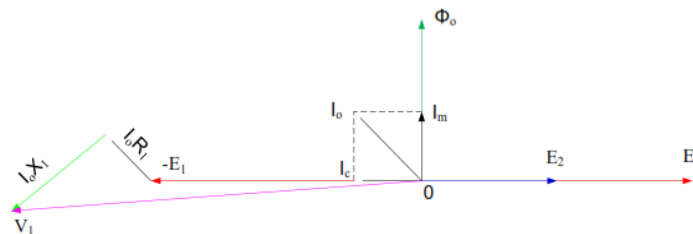
Karena transformator tidaklah mungkin ideal, maka rugi-rugi pada transformator harus diperhitungkan, maka :

1. Arus primer tanpa beban ( $I_0$ ) tidak sephasa dengan fluks magnet ( $\Phi_0$ ), dimana arus primer tanpa beban dapat diuraikan atas dua komponen yaitu :

$$I_0 = I_m + I_c \dots\dots\dots 2.12$$

2. Besarnya ggl induksi  $E_1$  tidak sama lagi dengan  $V_1$  karena adanya impedansi kumparan primer  $Z_1$ , sehingga dipeoleh hubungan :

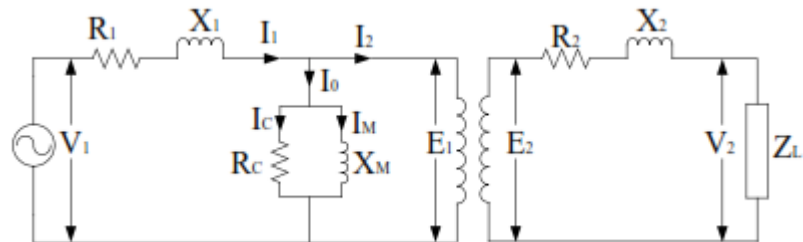
$$V_1 = -E_1 + I_0 (R_1 + jX_1) \dots\dots\dots 2.13$$



Gambar 2.7. Diagram vektor transformator tak ideal tanpa beban.

## 2.5.2 Transformator Berbeban

Bila transformator diberi beban maka pada sisi sekunder terdapat arus ( $I_2$ ) yang mengalir.  $I_2$  yang mengalir akan menyebabkan adanya perubahan pada arus yang mengalir di sisi primer. Transformator yang berbeban ini dapat dibagi menjadi 3 bagian ditinjau dari bebannya yaitu tahanan murni, beban induktif dan beban kapasitif.



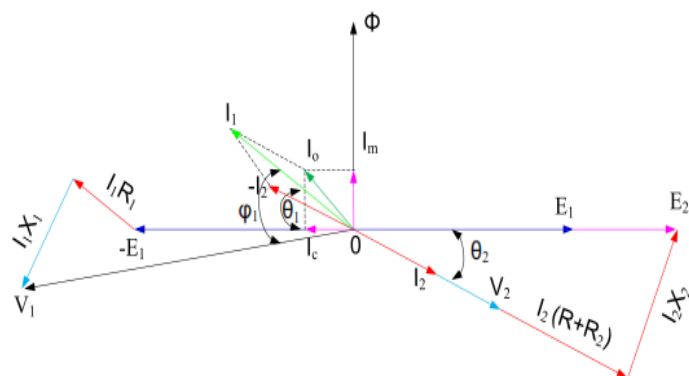
gambar 2.8. rangkaian ekivalen transformator

### 2.5.2.1 Beban Tahanan Murni

Apabila pada sisi sekunder transformator dihubungkan dengan tahanan murni (R), maka arus akan mengalir pada sisi sekunder transformator sebesar  $I_2$ .  $I_2$  akan berbeda fasa terhadap  $E_2$  sebesar  $\theta_2$ .

$$V_2 = E_2 - I_2 ((R_2 + R) + jX_2) \dots\dots\dots 2.14$$

$$\tan \phi_2 = \frac{X_2}{R_2 + R} \dots\dots\dots 2.15$$



Gambar 2.9. Diagram vektor transformator berbeban tahanan murni.



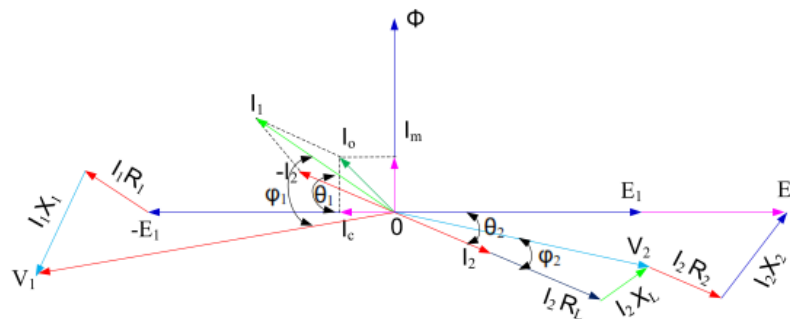
### 2.5.2.2 Beban Induktif

Apabila transformator berbeban induktif, berarti pada sisi sekunder transformator terdapat  $R_2 + jX_2$  dan  $R_L + jX_L$ . Dengan adanya harga  $R_2 + jX_2$  dan  $R_L + jX_L$ , akan mengakibatkan pergeseran fasa antara  $I_2$  dan  $E_2$  sebesar  $\theta_2$ . Dimana :

$$\operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{X_2 + X_L}{R_2 + R_L} \dots\dots\dots 2.16$$

Dan dengan adanya harga  $R_2 + jX_2$  dan  $R_L + jX_L$ , juga akan mengakibatkan pergeseran fasa antara  $I_2$  dan  $V_2$  sebesar  $\varphi_2$ . Dimana :

$$\operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{X_L}{R_L} \dots\dots\dots 2.17$$



Gambar 2.10. Diagram vektor transformator berbeban induktif.

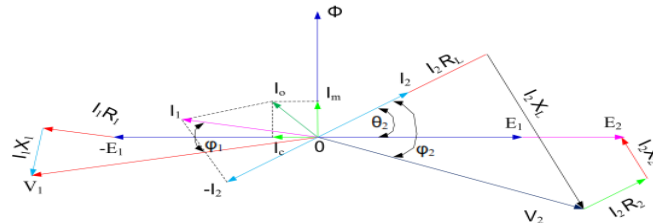
### 2.5.2.3 Beban Kapasitif

Jika (dihubungkan dengan beban kapasitif, maka arus akan mengalir pada sisi sekunder transformator sebesar  $I_2$ . Beban kapasitif tersebut akan mengakibatkan pergeseran fasa antara  $I_2$  dan  $E_2$  sebesar  $\theta_2$ , dan juga akan mengakibatkan pergeseran fasa antara  $I_2$  dan  $V_2$  sebesar  $\varphi_2$ . Dimana :



$$\tan \varphi_2 = \frac{X_L - X_2}{R_L - 2} \dots\dots\dots 2.18$$

$$\tan \varphi_2 = \frac{X_L}{R_L} \dots\dots\dots 2.19$$

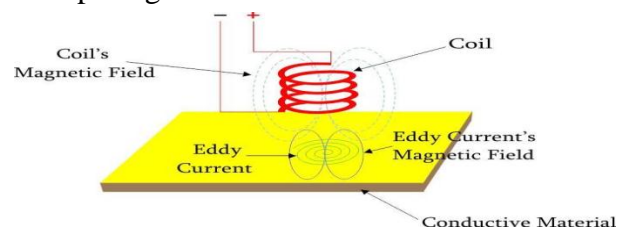


Gambar 2.11. Diagram vektor transformator berbeban kapasitif.

## 2.6 Rugi-Rugi Pada Transformer

### 2.6.1. Rugi Arus Pesar (eddy current)

Arus pesar adalah arus yang mengalir pada material inti karena tegangan yang diinduksi oleh fluks. Arah pergerakan arus pesar adalah  $90^\circ$  terhadap arah fluks seperti terlihat pada gambar berikut.



Gambar 2.12. Arus pesar yang berputar pada material inti

Dengan adanya resistansi dari material inti maka arus pesar dapat menimbulkan panas sehingga mempengaruhi sifat fisik material inti tersebut bahkan hingga membuat transformer terbakar. Untuk mengurangi efek arus pesar maka material inti harus dibuat tipis dan dilaminasi sehingga dapat disusun hingga sesuai tebal yang diperlukan.



Rugi arus pusar dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$p_e = k_e \times f^2 \times t^2 \times B_{\max}^2 \dots\dots\dots 2.20$$

$$p_e = k_e \times f^2 \times B_m^2$$

Dimana:  $p_e$  = Rugi arus pusar[w/kg]

$k_e$  = Konstanta material inti

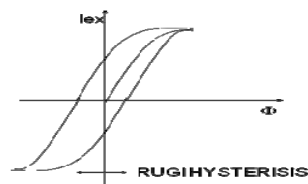
$f$  = frekuensi [Hz]

$t$  = ketebalan material [m]

$B_{\max}$  = Nilai puncak medan magnet [T]

### 2.6.2. Rugi Histerisis

Rugi hysteresis terjadi karena respon yang lambat dari material inti. Hal ini terjadi karena masih adanya medan magnetik residu yang bekerja pada material, jadi saat arus eksitasi bernilai 0, fluks tidak serta merta berubah menjadi 0 namun perlahan-lahan menuju 0. Sebelum fluks mencapai nilai 0 arus sudah mulai mengalir kembali atau dengan kata lain arus sudah bernilai tidak sama dengan 0 sehingga akan membangkitkan fluks kembali. Grafik hysteresis dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2.13. Grafik hysteresis  $I_{ex}$  terhadap  $\Phi$

Rugi hysteresis ini memperbesar arus eksitasi karena medan magnetik residu mempunyai arah yang berlawanan dengan medan magnet yang dihasilkan oleh arus eksitasi. Untuk mengurangi rugi ini, material inti dibuat dari besi lunak yang



umum digunakan adalah besi silikon. Besarnya rugi hysteresis dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan berikut.

$$p_{\eta} = k_{\eta} \times f^2 \times t^2 \times B_{n\max} \dots \dots \dots 2.21$$

$$p_{\eta} = h_{\eta} \times f \times B_{m\max}^n$$

- Dimana:  $p_{\eta}$  = Rugi arus pusar[w/kg]  
 $k_{\eta}$  = Konstanta material inti  
 $f$  = frekuensi [Hz]  
 $t$  = ketebalan material [m]  
 $B_{\max}$  = Nilai puncak medan magnet [T]  
 $n$  = Nilai eksponensial, tergantung material dan  $B_{\max}$

Rugi hysteresis maupun rugi arus pusar bernilai tetap, tidak bergantung pada besarnya beban.

### 2.6.3 Rugi Tembaga

Rugi tembaga adalah rugi yang dihasilkan oleh konduktor/tembaga yang digunakan sebagai bahan pembuat kumparan. Rugi ini diakibatkan oleh adanya resistansi bahan. Nilai resistansi konduktor dapat dihitung dengan Persamaan berikut:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A} \dots \dots \dots 2.22$$

- Dimana:  $R$  = Tahanan (Ohm)  
 $\rho$  = Tahanan jenis (Ohm.m)  
 $l$  = Panjang penghantar (m)  
 $A$  = Luas penampang ( $m^2$ )

Sedangkan untuk menghitung kerugian tembaga itu sendiri dapat mempergunakan persamaan berikut ini :



$$\begin{aligned} P_{cp} &= I_1^2 \cdot R_1 \\ P_{cs} &= I_2^2 \cdot R_2 \dots\dots\dots 2.23 \end{aligned}$$

Dimana

$P_{cp}$  = Rugi konduktor primer

$P_{cs}$  = Rugi konduktor sekunder

$I_1$  = Arus pada kumparan primer

$I_2$  = Arus pada kumparan sekunder

$R_1$  = Tahanan kumparan primer

$R_2$  = Tahanan kumparan sekunder

Dengan memperhatikan Persamaan diatas terlihat bahwa besarnya arus yang mengalir pada kumparan berpengaruh terhadap besarnya rugi konduktor, dengan kata lain besarnya beban mempengaruhi besarnya nilai kerugian.

## 2.7. Efisiensi Transformator

Efisiensi transformer adalah perbandingan antara daya output yang dihasilkan dibanding dengan daya input masukannya.

$$\text{Efisiensi} = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots 2.24$$

$$= \frac{V_{out} \times I_{out}}{V_{in} \times I_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots 2.25$$



---

## 2.8 Traformator Tenaga

Trafo ini biasanya digunakan pada pemakaian daya dari rumah tangga, sampai pembangkit, transmisi dan distribusi tenaga listrik.

Beberapa alasan digunakannya transformer, antara lain :

1. Tegangan yang dihasilkan sumber tidak sesuai dengan tegangan pemakai,
2. Biasanya sumber jauh dari pemakai sehingga perlu tegangan tinggi (pada jaringan transmisi), dan
3. Kebutuhan pemakai/beban memerlukan tegangan yang bervariasi.

Selain kapasitas daya, dalam pemilihan transformator distribusi kita juga harus mengetahui:

### a. Bushing

Bushing merupakan salah satu komponen pada transformator sebagai tempat penghubung antara transformator dengan jaringan luar. Bushing terbuat dari porselin, dimana porselin ini berfungsi sebagai penyekat antara konduktor (penghantar yang bertegangan) dengan tangki transformator.

### b. Sistem Pendinginan

Dalam memilih transformator kita harus mengetahui system pendinginan yang digunakan transformator tersebut.

### c. Peralatan Proteksi

Transformator Distribusi yang digunakan harus memiliki peralatan proteksi.

### d. Indikator

Indikator dalam transformator digunakan untuk mengetahui tinggi dari permukaan minyak dan temperature / suhu minyak.

### e. Tap Changer

Tap Changer adalah perubahan tegangan dari satu tegangan ke





tegangan lain dilakukan dalam keadaan tanpa beban (tegangan off) dan dilakukan secara manual melalui sebuah tuas.

#### f. Spesifikasi Teknis Transformator

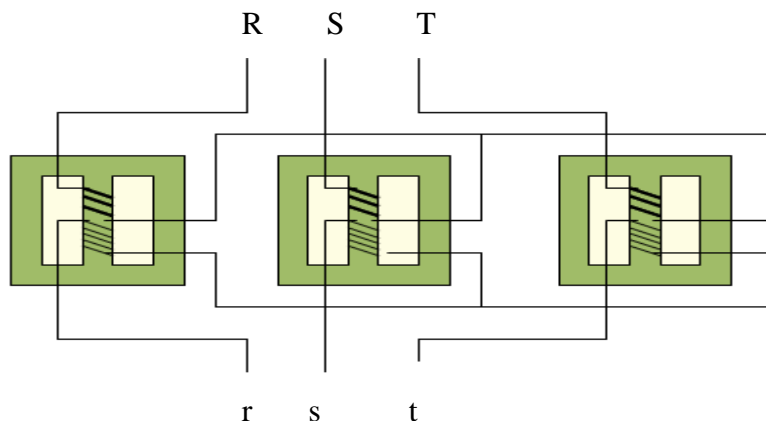
Untuk pemilihan transformator perlu melihat spesifikasi teknisnya, apakah transformator tersebut Step Up atau transformator Step Down.

Dari spesifikasi tersebut kita akan mengetahui :

1. Type
2. Standar menurut IEC dan SPLN
3. Rating
4. Vektor grup
5. Sifat kelistrikan
6. Berat dan dimensi

## 2.9 Transformer Tiga Fasa

Konstruksi suatu trafo tiga fasa terdiri dari rangkaian tiga buah trafo satu fasa



Gambar 2.14. Konstruksi transformator tiga fasa

Transformator tiga fasa pada prinsipnya sama dengan transformator satu fasa, perbedaannya adalah pada transformator tiga fasa mengenal adanya



hubungan bintang, segitiga dan hubungan zig-zag, dan juga system bilangan jam yang sangat menentukan kerja paralel tiga fasa. Untuk menganalisa transformator tiga fasa dilakukan dengan cara menganggap bahwa transformator tiga fasa sebagai transformator satu fasa, teknik perhitungannya pun sama, hanya untuk nilai akhir biasanya parameter tertentu (arus, tegangan, dan daya) transformator tiga fasa dikalikan dengan nilai .

Transformator tiga fasa dikembangkan untuk alasan ekonomis, biaya lebih murah karena bahan yang digunakan lebih sedikit dibandingkan tiga buah transformator satu fasa dengan jumlah daya yang sama dengan satu buah transformator tiga fasa, penerjaannya lebih cepat.

Transformator tiga fasa adalah trafo yang sering dipakai hal ini dikarenakan :

- Untuk daya yang sama tidak memerlukan ruang yang besar.
- Mempunyai nilai ekonomis.
- Pemeliharaan persatuan barang lebih murah dan lebih mudah.

Namun pada saat ini untuk transformer tiga fasa sudah menggunakan satu buah core untuk ketiga fasanya.

Pada dasarnya formulasi trafo tiga fasa dikembangkan atau merupakan jumlah vektor dari tiga buah trafo satu fasa. Jadi :

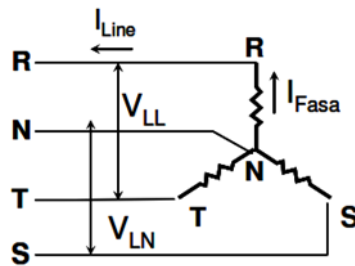
$$\begin{aligned}
 P_3 \text{ Fasa} &= P_1 + P_2 + P_3 \\
 &= I_1 \cdot V_1 + I_2 \cdot V_2 + I_3 \cdot V_3 \\
 &= 3 \text{ I.V} \dots \dots \dots 2.26
 \end{aligned}$$

Rumus disamping ini berlaku baik pada trafo terhubung bintang maupun segitiga, dengan catatan bahwa arus (i) dan tegangan (v) adalah arus dan tegangan trafo satu fasa (bukan arus dan tegangan line).



## 2.10 Formulasi Transformator Tiga Fasa

### 2.10.1 Bila Rangkaian Primer Atau Sekunder Transformator Terhubung Bintang

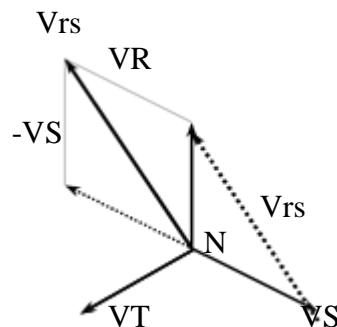


Gambar 2.15. Rangkaian Terhubung Bintang

$$I_{LINE} = I_{FASA}$$

$$\vec{V}_{RS} = \vec{V}_R - \vec{V}_S$$

$$= \vec{V}_R \cdot \sqrt{3} \dots \dots \dots 2.27$$



Gambar 2.16. Arah Vektor Tegangan Terhubung Bintang

$$V_{RS} = V_{LL} = \text{Voltage line to line}$$

$$V_R = V_S = V_T = V_{LN} \\ = \text{Voltage line to netral}$$

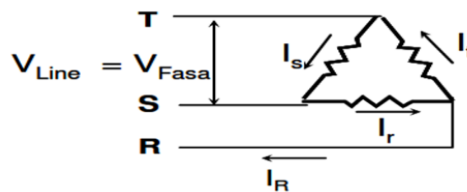


$P_3$  Fasa = Daya Trafo Tiga Fasa

$$V_{LL} = V_{LN} \cdot \sqrt{3} \quad \text{Maka } V_{LN} = V_{LL} / \sqrt{3}$$

$$\begin{aligned} P_3 \text{ Fasa} &= 3 \cdot I \cdot V_{LN} \\ &= 3 \cdot I \cdot (V_{LL} / \sqrt{3}) \\ &= I \cdot V_{LL} \cdot \sqrt{3} \dots\dots\dots 2.28 \end{aligned}$$

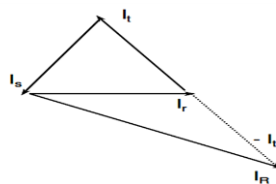
### 2.10.2 Bila Rangkaian Primer Atau Sekunder Trafo Terhubung Delta



Gambar 2.17. Rangkaian Terhubung Delta

$$V_{Line} = V_{Fasa}$$

$$\begin{aligned} I_R &= I_r - I_t \\ &= I_r \cdot \sqrt{3} \dots\dots\dots 2.29 \end{aligned}$$



Gambar 2.18. Arah Vektor Arus Terhubung Delta

$$I_R = I_S = I_T = I_{LINE} = \text{Arus Line}$$

$$I_r = I_s = I_t = I_{fasa} = \text{Arus Fasa}$$

$$\begin{aligned} V_{RS} &= V_{ST} = V_{TR} \\ &= \text{Tegangan Line} \end{aligned}$$

$P_3$  Fasa = Daya Trafo Tiga Fasa

$$I_{line} = I_{Fasa} \cdot \sqrt{3} \quad \text{Maka } I_{Fasa} = I_{Line} / \sqrt{3}$$



$$\begin{aligned} P_3 \text{ Fasa} &= 3 \cdot I_{\text{Fasa}} \cdot V = 3 \cdot (L_{\text{Line}} / \sqrt{3}) \cdot V \\ &= I_{\text{Line}} \cdot V \cdot \sqrt{3} \dots \dots \dots 2.30 \end{aligned}$$

Jadi daya trafo tiga fasa adalah :

$$P = V \times I \times \sqrt{3} \dots \dots \dots 2.31$$

bila bebannya impedansi maka :

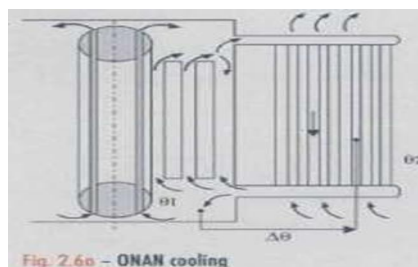
$$P = V \times I \times \cos \phi \times \sqrt{3} \dots \dots \dots 2.32$$

## 2.11 Jenis – Jenis Pendingin Pada Transformator

Terdapat dua jenis pendingin pada transformator, diantaranya adalah:

1. Tipe Kering
  - a. AN : Pendingin udara natural
  - b. AFA : Pendinginan udara terpompa
2. Tipe Basah
  - a. ONAN : Oil Natural Air Natural

Pada tipe ini udara dan oli akan bersikulasi dengan alami. Perputaran oli akan dipengaruhi oleh suhu dari oli tersebut.

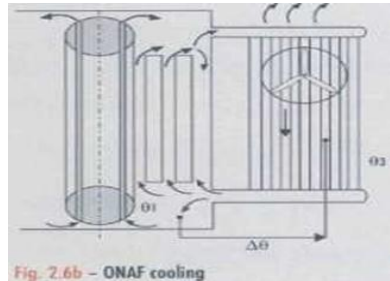


Gambar 2.19. Pendinginan Tipe ONAN



b. ONAF : Oil Natural Air Forced

Pada tipe ini oli akan bersirkulasi dengan alami namun saat oli melalui radiator oli akan didinginkan dibantu dengan kipas/fan.



Gambar 2.20. Pendinginan Tipe ONAF

c. OFAF : Oil Forced Air Forced

Pada tipe ini oli akan didinginkan dengan bantuan pompa agar sirkulasi semakin cepat dan juga dibantu kipa/fan pada radiatornya.

Khusus jenis trafo tenaga tipe basah, kumparan-kumparan dan intinya direndam dalam minyak-trafo, terutama trafo-trafo tenaga yang berkapasitas besar, karena minyak trafo mempunyai sifat sebagai media pemindah panas dan bersifat pula sebagai isolasi ( tegangan tembus tinggi ) sehingga berfungsi sebagai media pendingin dan isolasi. Untuk itu minyak trafo harus memenuhi persyaratan sbb. :

- Ketahanan isolasi harus tinggi (  $>10\text{kV/mm}$  )
- Berat jenis harus kecil, sehingga partikel-partikel inert di dalam minyak dapat mengendap dengan cepat.
- Viskositas yang rendah agar lebih mudah bersirkulasi dan kemampuan pendinginan menjadi lebih baik.
- Titik nyala yang tinggi, tidak mudah menguap yg dapat membahayakan
- Tidak merusak bahan isolasi padat ( sifat kimia 'y' )

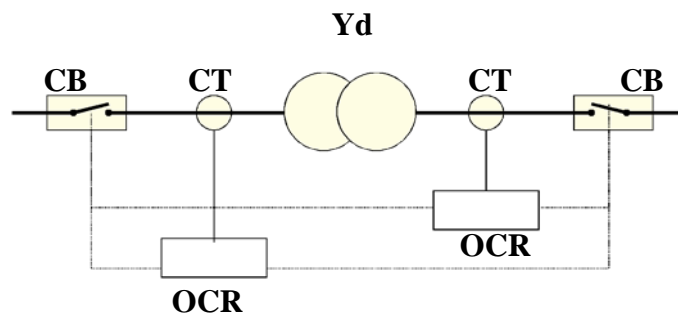


## 2.12 Sistem Proteksi Transformator

Terdapat dua jenis system Proteksi Transformator, diantaranya adalah:

### 2.12.1 Proteksi Eksternal

#### a. Over Current Relay

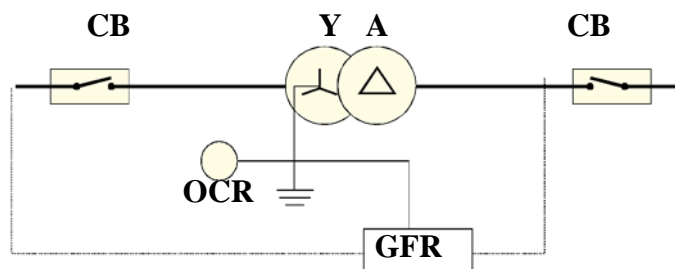


Gambar 2.21. Over Current Relay

Memproteksi trafo dari arus berlebih

Arus berlebih adalah arus yang melebihi arus nominal dalam jangka waktu tertentu .

#### b. Ground Fault Relay



Gambar 2.22. Ground Fault Relay

Memproteksi trafo dari kesalahan/gangguan grounding

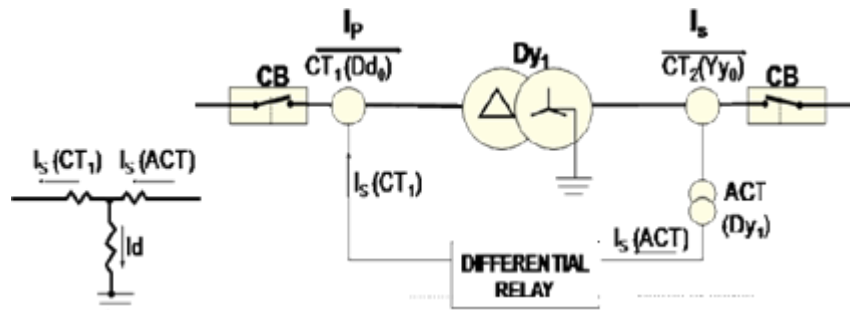
Berlaku hanya untuk trafo yang titik netralnya di hubungkan ke ground

Prinsip kerja mirip over current relay.



## 2.12.2 Proteksi Internal

### a. Differensial Relay

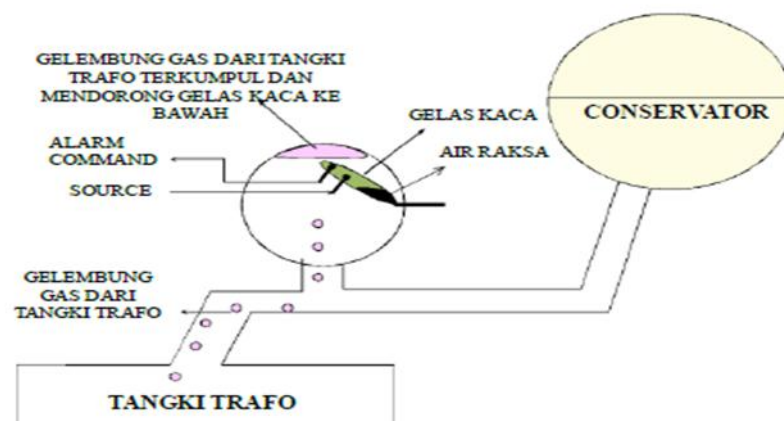


Gambar 2.23. Differensial Relay

Memproteksi terhadap kebocoran arus.

Prinsipnya pada perbedaan arus masuk dan keluar trafo.

### b. Bucholz Relay



Gambar 2.24. Bucholz relay

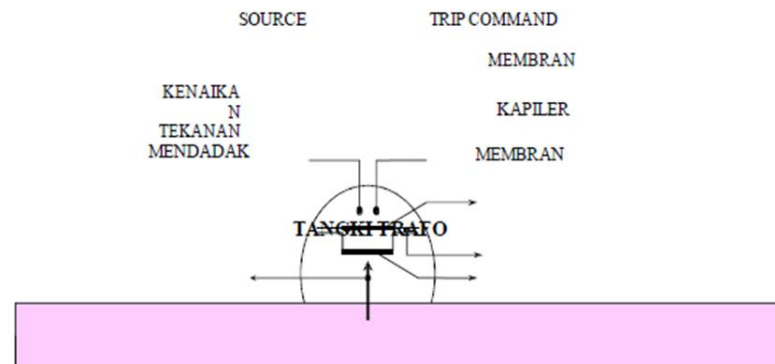
Memproteksi trafo dari loncatan listrik di dalam trafo

Memanfaatkan sifat kimiawi.





### c. Sudden Pressure Relay



Gambar 2.25. Sudden Pressure Relay

Memproteksi dari tekanan berlebih sesaat

Tidak bereaksi pada tekanan berlebih, hal ini telah ditangani oleh relief ven.